

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. Juli 2004 (15.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/058485 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B29C 65/16**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/013668

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Dezember 2003 (04.12.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 61 642.6 27. Dezember 2002 (27.12.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **LASERQUIPMENT AG** [DE/DE]; Grundstrasse 15,
91056 Erlangen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HOFMANN, Alexan-**
der [DE/DE]; Stiftungsstrasse 10b, 91056 Erlangen (DE).

HIERL, Stefan [DE/DE]; Auf der Höhe 15, 92348 Berg
(DE).

(74) Anwälte: **HÜBNER, Gerd** usw.; Königstrasse 2, 90402
Nürnberg (DE).

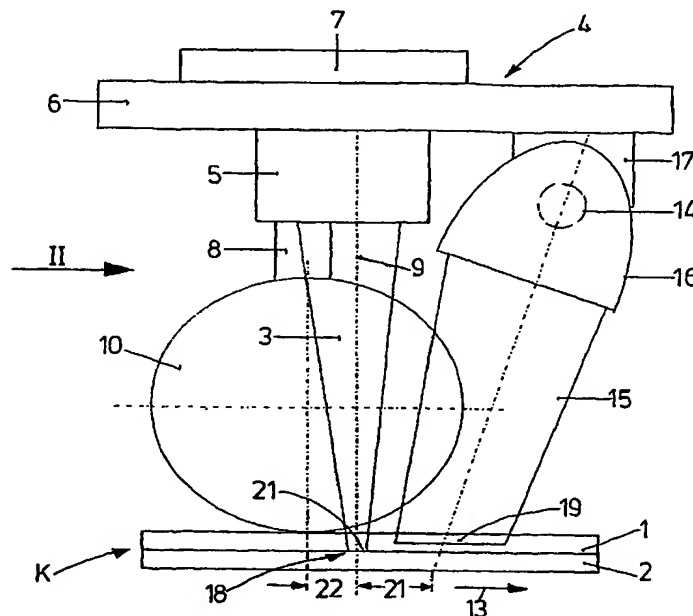
(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT,
RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO Patent (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR WELDING THERMOPLASTIC MATERIAL SHAPED PARTS, PARTICULARLY
FOR CONTOUR-WELDING THREE-DIMENSIONAL SHAPED PARTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM VERSCHWEISSEN THERMOPLASTISCHER KUNSTSTOFF-
FORMTEILE, INSBESONDERE ZUM KONTURSCHWEISSEN DREIDIMENSIONALER FORMTEILE



(57) Abstract: The invention relates to a method and device for welding thermoplastic material shaped parts. An additional simultaneous irradiation of one of the joining partners (1) in the welding zone (18) increases the temperature of this joining partner whereby effecting a process-reliable welding.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verschweissen thermoplastischer Kunststoff-Formteile, wobei durch zusätzliches simultanes Bestrahlen eines der Fügepartner (1) in der Schweisszone (18) eine Temperaturerhöhung dieses Fügepartners zur prozesssicheren Verschweissung stattfindet.

Verfahren und Vorrichtung zum Verschweißen thermoplastischer Kunststoff-Formteile, insbesondere zum Konturschweißen dreidimensionaler Formteile

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verschweißen und insbesondere zum Konturschweißen dreidimensionaler Formteile mit den im Oberbegriff der Ansprüche 1 bzw. 8 angegebenen Merkmalen.
- 10 Das Laserstrahlkunststoffschweißen ist aus dem Stand der Technik in vielerlei Ausprägung bekannt. Grundsätzlich werden dabei die beiden Fügepartner im Bereich der zu verschweißenden Kontur in Kontakt gebracht. Um einen sich negativ auf das Schweißergebnis auswirkenden Spalt zwischen den Fügepartnern zu vermeiden und etwaige Formtoleranzen aus-
- 15 zugleichen, werden dabei die Fügepartner in ihrem Fugebereich durch eine Spannvorrichtung beaufschlagt. Schließlich werden diese in der Schweißzone mit einem Laserschweißstrahl bestrahlt, wodurch mindestens einer der beiden Fügepartner aufschmilzt, durch Wärmetransfer auch der zweite Fügepartner zum Aufschmelzen gebracht wird und sich schließlich beide
- 20 Fügepartner dadurch stoffschlüssig verbinden.

Ein typisches Beispiel für ein solches Verschweißen ist das Laserdurchstrahlschweißen, bei dem der obere, vom Laserschweißstrahl durchstrahlte Fügepartner transmissiv für die jeweils verwendete Laserwellenlänge, der

25 untere Fügepartner jedoch dafür absorptiv ist.

Zum breit gefächerten Stand der Technik ist beispielhaft auf die DE 37 14 504 A1 zu verweisen, aus der ein Verfahren zum Schweißen

oder Schneiden von Edelmetallen, aber auch von Kunststoffen oder biologischen Geweben bekannt ist, bei dem mit zwei koordinierten Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge gearbeitet wird. Ein erster Strahl beispielsweise einer Wellenlänge von 193 nm wird auf die Schweißzone gerichtet, wobei ein zweiter Laserstrahl mit einer größeren Wellenlänge zugeordnet wird. Dieser erhöht die Absorption des ersten IR-Laserschweißstrahles, womit eine verbesserte Schweißqualität insbesondere bei für eine Laserstrahlverschweißung kritischen Materialien erzielbar ist.

10 Aus der DE 38 33 110 C2 ist eine Anordnung zum Verschweißen von thermoplastischen Werkstoffen mittels Wärmestrahlung bekannt, bei der ein erstes und zweites thermoplastisches Werkstück auf einer Aufnahmevorrichtung übereinander geschichtet angeordnet sind, die die thermoplastischen Werkstücke im Bereich einer Schweißnaht unterstützt.

15 Zum Festlegen der Schweißnaht ist eine Spiegelmaske vorgesehen, die ein transparentes, mehrschichtig stempelartig ausgebildetes Andruckelement und eine dem ersten thermoplastischen Werkstück zugewandte reflektierende Blende aufweist. Die Spiegelmaske ist dabei zwischen einer Strahlungseinrichtung für den Schweißvorgang und dem thermoplastischen Werkstück unmittelbar auf diesem angeordnet. Für den Schweißvorgang ist eine relativ zur Strahlungseinrichtung bewegbare Andruckvorrichtung vorgesehen. Als Strahlungseinrichtung soll eine Halogenglühlampe mit einem Infrarot-Ellipsoid-Reflektor zum Einsatz kommen.

25 Die EP 0 890 865 B1 offenbart, dass mittels eines zwischen einer Strahlungsquelle und den zu verschweißenden Werkstücken gesetzten Filters eine dem Schweißvorgang angepasste Wellenlänge selektiert wird.

Am relevantesten für die vorliegende Erfindung ist die DE 199 25 203 A1, aus der ein Verfahren zum Verschweißen mindestens zweier Kunststoffe mit Hilfe von Laserlichtenergie bekannt ist. Dabei wird dem Fügebereich eine Hilfsenergie zugeführt, die im Fügebereich vorhandene Partikel mindestens eines ersten Stoffes reversibel in einen oder mehrere zweite Stoffe
5 umwandelt. Diese zweiten Stoffe absorbieren in ihren Gesamtheit die Laserstrahlung stärker als der erste Stoff, sodass auch bezüglich der Laserenergieabsorption an sich kritische Materialien mit befriedigender Qualität verschweißbar werden.

10

Die vorstehenden Druckschriften zum Stand der Technik bieten zwar Ansatzpunkte für die Verbesserung der Schweißqualität bei unterschiedlichsten Fügepartnern, sie bringen jedoch keinen Beitrag zur Lösung der der vorliegenden Erfindung zu Grunde liegenden Problematik. Diese
15 kommt insbesondere beim Laserstrahlkunststoffschweißen von großen, dreidimensionalen Konturen zum Tragen. Übliche starre, konturangepasste Spannvorrichtungen sind in diesem Anwendungsgebiet zum einen sehr aufwendig und damit kostenintensiv, zum anderen kann auf Grund der relativ großen Bauteiltoleranzen kein gleichmäßiges Spanndruckfeld an den zu
20 verschweißenden Formteilkonturen aufgebaut werden. Insbesondere sind die zu erwartenden Bauteilabweichungen von der Sollgeometrie in der Regel größer als die zulässigen Toleranzen, bei deren Nahtspalte während des Schweißprozess noch überbrückt werden. Dieses Problem wird durch die vorstehend erwähnten, nicht reproduzierbaren Spanndruckfelder noch
25 verschärft. Ferner besteht nach wie vor die aus dem Stand der Technik bekannte Schwierigkeit, dass Schweißverbindungen von Materialien mit gleichen optischen Transmissionseigenschaften nicht ohne Zusatzstoffe zumindest in einem der Fügepartner herzustellen sind.

Grundsätzlich lässt sich nun die Strahlführung zum Kunststoffschweißen an großen dreidimensionalen Konturen an sich durch Lichtleitfasern in Verbindung mit marktüblichen Industrierobotern problemlos realisieren, wie dies bereits bei anderen Lasermaterialbearbeitungsverfahren praktiziert
5 wird. Dabei bleibt das Problem der Spanntechnik ungelöst, sodass ein rationeller Einsatz dieses Schweißverfahrens im industriellen Maßstab nicht vernünftig realisierbar ist.

Eine weitere Problematik auf dem Gebiet der Konturverschweißung großer
10 dreidimensionaler Formteile liegt in den ungünstigen Eigenschaften der dort oftmals verwendeten Kunststoffe in Bezug auf ihre Schweißbarkeit. So besitzen viele derartige Kunststoffe nur einen geringen Schmelzbereich zwischen Schmelzpunkt und Zersetzungstemperatur. Ferner plastifizieren solche Kunststoffe oft erst bei hohen Temperaturen, sodass
15 der wärmeleitungsabhängige Schweißprozess nur mit hohen Zykluszeiten realisiert werden kann. Die notwendige enge Temperaturführung bedingt ferner schmale Prozessfenster, die einer unproblematischen, industriellen Anwendung von Laserschweißverfahren für das Konturschweißen großer dreidimensionaler Formteile entgegenstehen.

20

Zur Lösung der geschilderten Probleme schlägt die Erfindung nun vor, durch zusätzliches simultanes Bestrahlen des anderen, im Wesentlichen nicht vom Laserschweißstrahl beaufschlagten Fügepartners in der Schweißzone mit einer elektromagnetischen Sekundärstrahlung eine Temperatur-
25 erhöhung dieses zweiten Fügepartners zu erreichen.

Durch diese Strahlquelle wird eine Erwärmung des zweiten Fügepartners, in aller Regel der oben liegenden sogenannten „Decklage“ der Schweißzone, gefördert und damit das Temperaturfeld in der Schweißzone beiderseits

der Schweißebene homogenisiert und symmetrischer gestaltet. Durch ein solches homogenisiertes Temperaturfeld wird das Prozessfenster erweitert und der Prozess weniger störanfällig in Bezug auf die insbesondere bei großen, dreidimensionalen Konturen auftretenden Schwierigkeiten durch das ungleichmäßige Spanndruckfeld gemacht. Insoweit ist auf Grund des
5 erfindungsgemäßen Verfahrens und der entsprechenden Vorrichtung, wie sie durch die Kennzeichnungsmerkmale des Patentanspruches 1 bzw. 8 charakterisiert sind, die Spanntechnik als solche nicht mehr der limitierende Faktor eines 3D-Schweißprozesses.

10

Durch die bevorzugten Weiterbildungen gemäß den Ansprüchen 2 bzw. 10 ist eine besonders selektive Temperaturerhöhung des zweiten Fügepartners erzielbar. Auf Grund der unterschiedlichen Wellenlängen von Laserschweißstrahl und Sekundärstrahlung kann die thermisch wirksame Sekundär-Strahlung in ihrer Wellenlänge auf die jeweils zu erwärmende bzw.
15 anzuschmelzende Schicht und die dort herrschenden Absorptionsverhältnisse für die Strahlung zugeschnitten werden.

Wenngleich die Sekundärstrahlung grundsätzlich auch von einem zweiten
20 Laser erzeugt werden könnte, ist dies im industriellen Umfeld aus Kostengründen nicht anzustreben. Vielmehr können laut den Ansprüchen 3 bzw. 11 Infrarot- oder UV-Strahler bevorzugter Maßen eingesetzt werden, da deren Strahlung von vielen ungefärbten Kunststoffen besser absorbiert wird als übliche Schweißlaserwellenlängen von z.B. 780 bis 1000 nm. Be-
25 sonders bevorzugt ist eine kurzwellige, durch eine Halogen-IR-Strahlungsquelle erzeugte Sekundärstrahlung, wie dies den Ansprüchen 4 bzw. 12 entnehmbar ist.

- Wenn in den unabhängigen Ansprüchen von einem simultanen Bestrahlen der beiden Fügepartner die Rede ist, so bedeutet dies nicht, dass die Bestrahlungsperioden zwingend absolut gleichzeitig liegen müssen. Vielmehr muss gewährleistet sein, dass der eine Fügepartner, insbesondere der auf-
- 5 zuschmelzende Fügepartner, zu einer Zeit mit dem Laserschweißstrahl beaufschlagt wird, zu der noch eine signifikante Wechselwirkung mit der durch die Sekundärstrahlung temperaturerhöhten Zone der Fügepartner im Sinne einer Homogenisierung des Temperaturfeldes und Vergrößerung des Prozessfensters stattfinden kann. Insoweit kann gemäß bevorzugten Aus-
- 10 führungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der entsprechenden Vorrichtung die Sekundärstrahlung im Wesentlichen konzentrisch und synchron mit dem Laserschweißstrahl oder diesem voreilend aufgebracht werden, wie dies in den Ansprüchen 5 und 6 bzw. 13 und 14 angegeben ist.
- 15 Zur Erhöhung der Effektivität der Sekundärstrahlquelle ist es von Vorteil, die Sekundärstrahlung fokussiert aufzubringen (Ansprüche 7 bzw. 15).

- Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sieht die Erfindung gemäß den Ansprüchen 8 bzw. 16 vor, die Sekundärstrahlung und/oder den
- 20 Laserschweißstrahl durch eine für sie transmissive Spannvorrichtung, insbesondere eine Spannrolle aufzubringen. Dies hat den Vorteil, dass die Spannvorrichtung unmittelbar auf die aktuell aktivierte Schweißzone wirkt, womit Bauteiltoleranzen optimal ausgeglichen und entsprechende Füge-
- 25 spalte auf ein Minimum reduziert werden.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung sind der nachfolgenden Beschreibung entnehmbar, in der Ausführungsbeispiele an Hand der beigelegten Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Seitenansicht einer Laserschweißvorrichtung,
- Fig. 2 eine Ansicht der Laserschweißvorrichtung aus Pfeilrichtung II nach Fig. 1,
- 5 Fig. 3 und 4 simulierte Temperaturfeld-Darstellungen zur Gegenüberstellung eines herkömmlichen und erfindungsgemäßen Schweißprozesses;
- 10 Fig. 5 ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm eines Polymers,
- Fig. 6 und 7 schematische Querschnitte durch die Schweißkontur zweier Fügepartner,
- 15 Fig. 8 eine schematische Seitenansicht einer Laserschweißeinrichtung einer zweiten Ausführungsform, und
- Fig. 9 eine Ansicht dieser Laserschweißeinrichtung aus Pfeilrichtung IX nach Fig. 8,

20

Die Fig. 1 und 2 zeigen die Randkontur K zweier zu verschweißender Fügepartner 1, 2. Es wird dafür ein Laserdurchstrahlschweiß-Verfahren verwendet, womit der obere Fügepartner 1 für den Laserschweißstrahl 3 möglichst transmissiv, der untere Fügepartner 2 möglichst absorptiv sein
25 muss. Im Übrigen ist das Laserdurchstrahlschweißen bekannt und bedarf keiner näheren Erörterung.

Der Laserschweißstrahl 3 wird über einen als Ganzes mit 4 bezeichneten Bearbeitungskopf von einer stationären Laserstrahlquelle über eine Faser-

optik zu der Fokussieroptik 5 herangeführt. Laserquelle und Faseroptik sind der Übersichtlichkeit halber in den Zeichnungen weggelassen. Die Fokussieroptik 5 sitzt an einem Träger 6 des Bearbeitungskopfes 4, der über eine Adapterplatte 7 mit Kraftmesseinheit beispielsweise am Manipulationsarm eines Industrieroboters angeflanscht ist.

Über einen Ausleger 8 ist seitlich neben der optischen Achse 9 des Laserschweißstrahls 3 eine Spannrolle 10 gelagert, die mit ihrem Umfang auf dem oberen Fügepartner 1 abrollt und damit im Bereich der vorzunehmenden Verschweißung die beiden Fügepartner 1, 2 miteinander verspannt. Eine entsprechende Gegenhalterung für die Rolle unterhalb der Schweißkontur ist in den Fig. 1 und 2 der Übersichtlichkeit halber ebenfalls nicht dargestellt. Die Drehachse 11 der Spannrolle 10 ist dabei in einem spitzen Anstellwinkel 12 zur Horizontalen nach oben geneigt, sodass die Spannrolle 10 schräg von der Seite her in die Schweißzone 18 eingreift und damit wenig stört.

Ferner ist in Vorschubrichtung 13 des Bearbeitungskopfes 4 an dessen Träger 6 ein kurzwelliger IR-Halogen-Strahler 14 angebracht, der eine kurzwellige infrarote Sekundärstrahlung 15 erzeugt. Der IR-Halogen-Strahler 14 sitzt dabei in einem Sekundärstrahlreflektor 16 in Form eines Ellipsoidreflektors, der über einen entsprechenden Halter 17 am Träger 6 angebracht ist. Auf Grund des Reflektors 16 wird die Sekundärstrahlung 15 fokussiert auf die Schweißzone 18 gerichtet. Wie aus Fig. 1 dabei deutlich wird, ist der Fokusbereich 19 der Sekundärstrahlung 15 um den Versatz 20 gegenüber dem Fokus 21 des Laserschweißstrahls 3 versetzt. Die Spannrolle 10 wiederum ist in die andere Richtung um den Abstand 22 gegenüber dem Laserschweißstrahl-Fokus 21 verschoben.

Mit der vorstehend beschriebenen Schweißvorrichtung lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren wie folgt realisieren:

Der Bearbeitungskopf 4 fährt unter Beaufschlagung der beiden Fügepartner 1, 2 mit der Spannrolle 10 die Schweißkontur K in Vorschubrichtung 13 ab, wobei in der jeweiligen Schweißzone 18 vorlaufend über die Sekundärstrahlung 15 der obere Fügepartner 1 lokal erwärmt wird. Damit wird zu dessen Anschmelzen über die Wärmeleitung vom absorbierenden Fügepartner 2 (unten) weniger Wärmeenergie benötigt, um eine stoffschlüssige Verbindung zwischen den beiden Fügepartnern 1, 2 durch den nachlaufenden Laserschweißstrahl 3 zu erzielen. Die vorstehend dargestellte Wirkung der Sekundärstrahlung 15 wird durch die Fig. 3 und 4 verdeutlicht. Fig. 3 zeigt das simulierte Temperaturfeld eines herkömmlichen Laserschweißprozesses an Polyethylen (PE) ohne Sekundärstrahlung. Die als weiße Zone in Fig. 3 dargestellte schmelzflüssige Phase erstreckt sich in erster Linie in dem unteren, absorptiven Fügepartner 2. Ihre Erstreckung in den oberen, transmissiven Fügepartner 1 ist gering. Dies bedeutet, dass das Prozessfenster sehr eng ist, da bei geringfügig schlechteren Wärmeübergangsbedingungen vom unteren Fügepartner 1 zum oberen Fügepartner 2 bereits keine stoffschlüssige Verbindung durch den Schweißprozess mehr gewährleistet ist. Grund hierfür können beispielsweise erhöhte Schweißspalte sein.

Fig. 4 zeigt demgegenüber ein simuliertes Temperaturfeld bei einem Schweißprozess, bei dem eine Sekundärstrahlung 15 mitberücksichtigt ist. Es wurde ein Fokusbereich der Sekundärstrahlung von 10 mm konzentrisch zum Schweißfokus angenommen. Ferner wurde für die Decklage eine Absorption der Sekundärstrahlung 15 von ca. 30% pro Millimeter Dicke des oberen Fügepartners 1 angesetzt. Aus der Erstreckung des weißen Temperaturfeldes, dass die schmelzflüssige Phase repräsentiert,

wird deutlich, dass die Aufschmelztiefe im oberen Fügepartner 1 deutlich größer im Vergleich zu den Verhältnissen in Fig. 3 ist. Auch die Länge der lagenübergreifenden Plastifizierungszone in Schweißrichtung ist größer. Insgesamt sind also die Prozessbedingungen und die damit erzielbare Prozesssicherheit auf Grund der Sekundärstrahlunterstützung deutlich verbessert.

Ein weiterer Vorteil der Temperaturerhöhung des oberen Fügepartners liegt auch in einer Reduzierung der Materialsteifigkeit des oberen Fügepartners.

10 Dies wird durch das Diagramm gemäß Fig. 5 verdeutlicht, das auf der Abszisse die relative Streckung eines ABS-Probenkörpers und auf der Ordinate die dafür notwendige Streckbelastung bei unterschiedlichen Temperaturen zwischen 21,5° und 66°C wiedergibt. Daraus ist erkennbar, dass mit steigender Temperatur sich die Streckgrenze (Peak der Diagrammkurven) und E-Modul (Anfangssteigung der Diagrammkurven) zur niedrigeren Belastungswerten verschieben. Da die Streckgrenze eines Werkstoffes dessen Biegesteifigkeit maßgeblich bestimmt, kann bei einer gleichmäßige Durchwärmung der Decklage auch weit unterhalb der Schmelztemperatur des Materials von einem signifikanten Abfall der Biegesteifigkeit auf

15 Bruchteile des Ausgangswertes bei Normaltemperatur ausgegangen werden.

Dies führt im Hinblick auf Bauteiltoleranzen zu einer besseren Verschweißbarkeit, wie dies durch die Fig. 6 und 7 deutlich gemacht wird. In diesen Darstellungen sind die beiden Fügepartner 1, 2 im Schnitt quer zur Schweißnahtichtung mit einem fehlstellen- oder toleranzbedingten Spalt

25 23 in der zu verschweißenden Randkontur K gezeigt. Bei Aufbringen eines bestimmten Spanndruckes (Pfeile 24 in Fig. 6 und 7) kann dies als Biegung

- des die Decklage bildenden oberen Fügepartners 1 um den Auflagerpunkt A aufgefasst werden. In der vereinfachten Betrachtung als ein-dimensionaler Biegebalken bildet sich ein lineares Spannungsfeld (Pfeile 25 in Fig. 6 und 7), das in der Ebene der neutralen Faser Null ist und abhängig von E-Modul des Materials linear zu den Rändern der Decklage hin ansteigt und zwar nach oben als Zugspannung und nach unten als Druckspannung. Der Spalt 23 wird dabei unter Umständen nicht (ausreichend) überbrückt.
- 10 Ist der obere Fügepartner 1 erwärmt, so ist die Streckgrenze herabgesetzt und der Kunststoff beginnt früher zu plastifizieren. An Orten höherer Spannung wird dann kein linear-elastischer Spannungszustand herrschen, sondern ein plastischer. Die maximal übertragbare Spannung ist nun durch die Streckgrenze limitiert und es bildet sich ein Zug-/Druck-Spannungsfeld nach Fig. 7 aus. Wie dort zeichnerisch versinnbildlicht ist, kann sich der erwärmte Fügepartner 1 besser an die gezeigte Fehlstelle anschmiegen, da seine gesamte Biegesteifigkeit geringer als in kaltem Zustand ist. Die Spaltüberbrückungsfähigkeit wird also durch die sekundärstrahlbedingte Reduzierung der Biegesteifigkeit des oberen Fügepartners deutlich verbessert.
- 20

In verfahrenstechnischer Hinsicht ist zur Erfindung ferner festzuhalten, dass das offenbarte Verfahren und die entsprechende Vorrichtung eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Prozessregelung und damit zur Optimierung des Schweißprozesses bieten. So kann beispielsweise der Versatz des Fokusbereiches 19 der Sekundärstrahlung 15 gegenüber dem Fokus 21 des Laserschweißstrahls 3 statischer Natur sein, aber auch durch einen geeigneten Regelkreis den Gegebenheiten des aktuellen Prozessverlaufes angepasst werden.

Andere Prozessparameter, wie die Vorschubgeschwindigkeit, die Position der Spannrolle 10 und der Sekundärstrahlquelle 14, die Ausbildung der gesamten Strahlführungskinematik usw. können dem aktuellen Prozesssta-
5 tus angepasst werden. Als Führungsgrößen bieten sich verschiedene Prozessparameter an, wie beispielsweise die aktuelle Spannkraft, das gemessene Reflektionssignal des Schweißlasers in der Schweißzone 18 usw.

Auch das Wellenlängenspektrum der Sekundärstrahlung 15 kann durch
10 geeignete optische Elemente, wie Filter, auf die jeweiligen Materialien insbesondere des oberen Fügepartners 1 zugeschnitten werden. So können durch Filter beispielsweise störende Spektralbereiche ausgeblendet werden.

In Fig. 8 und 9 ist schließlich eine zweite Ausführungsform einer Laserschweißvorrichtung mit Sekundärstrahlunterstützung gezeigt. Die Besonderheit hieran ist die Verwendung einer für die Wellenlänge des Laserschweißstrahls 3 transmissiven Spannrolle 10'. Dadurch kann der Laserschweißstrahl 3 durch die Spannrolle 10' in die Schweißzone eingebracht werden. Dies hat den Vorteil, dass die Spannposition durch Beaufschlagung der beiden Fügepartner 1, 2 mit dem Fokus 21 des Laserschweißstrahls 3 übereinstimmt, sodass während des Aufschmelzens des einen Fügepartners 2 einer optimale Verspannung zwischen den beiden Fügepartner
20 1, 2 mit geringst möglichen Fügespalten herrscht.

Wie aus Fig. 8 und 9 deutlich wird, ist der Träger 6 des Bearbeitungskopfes 4 als Joch 26 mit zwei seitlichen Wangen 27, 28 ausgebildet, zwischen denen an ihren unteren Enden rohrförmige Achsstummel 29, 30 nach innen weisend eingesetzt sind. Diese tragen über Kugellager 31, 32 jeweils Aufnahmehülsen 33, 34, die gemeinsam zwischen sich die transmissive Spann-

- 13 -

rolle 10' lagern. Durch den einen Achsstummel 29 wird der Laserschweißstrahl 3 über einen Lichtwellenleiter 35 von einer nicht näher dargestellten Laserstrahlquelle herangeführt und coaxial zur Rotationsachse 36 der Spannrolle 10' über eine Kollimierlinse 37 zur Spannrolle 10' hingeführt.

5 In der Rollenebene der Spannrolle 10' ist auf der Rotationsachse 36 ein Fokussierspiegel 38 angeordnet, der den noch als Rohstrahl vorliegenden Laserschweißstrahl 3 durch das jeweils auf den Fügepartnern 1, 2 abrollende Trum der Spannrolle 10' in die Schweißzone 18 fokussiert.

10 Die Sekundärstrahlung 15 wird bei dieser Ausführungsform der Laserschweißvorrichtung analog dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 und 2 erzeugt. Insoweit kann auf die dortige Beschreibung verwiesen werden, wobei übereinstimmende Bauteile mit identischen Bezugszeichen versehen wurden.

15

Zusammenfassend werden durch das erfindungsgemäße Verfahren und die entsprechende Laserschweißeinrichtung mit Sekundärstrahlunterstützung verschiedene Vorteile und Effekte erzielen, die nochmals kurz wie folgt zusammenfasst werden sollen:

20

- Die Prozessgeschwindigkeit und -stabilität kann im Vergleich zu konventionellen Laserschweißprozessen erhöht werden.
- Das Fügen und Verschweißen von Materialkombinationen, die auf Grund von sonst ungünstigen thermischen, rheologischen, optischen und/oder chemischen Eigenschaften nicht oder nur schwer mit einem
25 Laser zu verschweißen sind, wird ermöglicht.
- Die Fehlertoleranz des Prozesses insbesondere im Hinblick auf geometrische Abweichung der Fügepartner von einer Sollgeometrie wird erhöht.

- Bauteile mit einer dreidimensionalen Schweißkontur können mit einem vertretbaren Investitionsaufwand für die Spanntechnik prozesssicher verarbeitet werden.
- Bei Fügepartnern, bei denen keiner über eine ausreichend hohe Absorption verfügt, werden die zu verschweißenden Kunststoffe so vorgewärmt, dass die geringe Wärmeabsorption aus dem Laserschweißstrahl in seinem Fokusbereich ausreicht, das Material in der Schweißzone aufzuschmelzen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verschweißen thermoplastischer Kunststoff-Formteile,
5 insbesondere zum Konturschweißen dreidimensionaler Formteile, mit
folgenden Merkmalen:
 - In-Kontakt-bringen der Fügepartner (1, 2) im Bereich der zu ver-
schweißenden Kontur (K),
 - Beaufschlagen der Fügepartner (1, 2) in ihrem Fügebereich durch
10 eine Spannvorrichtung (10, 10'),
 - Bestrahlen eines (2) der Fügepartner (1, 2) in der Schweißzone mit
einem Laserschweißstrahl (3),
gekennzeichnet durch
 - zusätzliches simultanes Bestrahlen des anderen Fügepartners (1) in
15 der Schweißzone (18) mit einer elektromagnetischen Sekundärstrah-
lung (15) zu dessen Temperaturerhöhung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Se-
kundärstrahlung (15) zumindest Strahlanteile aufweist, die von der
20 Wellenlänge des Laserschweißstrahles (3) abweichen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als
Sekundärstrahlung (15) eine IR- oder UV-Strahlung verwendet wird.
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** als
IR-Strahlung eine kurzwellige, vorzugsweise durch eine Halogen-IR-
Strahlungsquelle (14) erzeugte oder mittelwellige IR-Sekundär-

- 16 -

strahlung (15) verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sekundärstrahlung (15) konzentrisch und synchron mit dem Laserschweißstrahl (3) aufgebracht wird.
5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sekundärstrahlung (15) dem Laserschweißstrahl (3) vor-eilend aufgebracht wird.
10
7. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sekundärstrahlung (15) fokussiert aufgebracht wird.
8. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sekundärstrahlung (15) und/oder der Laserschweißstrahl (3) durch eine für diese transmissive Spannvorrichtung, insbesondere Spannrolle (10') aufgebracht wird.
15
9. Vorrichtung zum Verschweißen thermoplastischer Kunststoff-Formteile, insbesondere zum Konturschweißen dreidimensionaler Formteile, umfassend
20
 - eine Spannvorrichtung (10, 10') für die beiden Fügepartner (1, 2)
 - eine Laserschweißstrahl-Quelle zur Erzeugung eines Laserschweißstrahls (3),
 - 25 – eine Laserschweißstrahl-Führungseinrichtung (5, 35) zur Führung des Laserschweißstrahls (3) zum einen (2) der beiden Fügepartner (1, 2) in der Schweißzone (18) zwischen den beiden Fügepartnern

- 17 -

(1, 2),

gekennzeichnet durch

- eine Sekundärstrahlungsquelle (14) zur Erzeugung einer elektromagnetischen Sekundärstrahlung (15), und
- 5 – eine Sekundärstrahl-Führungseinrichtung (16) zur Führung der Sekundärstrahlung (15) zum anderen (1) der beiden Fügepartner (1, 2) in der Schweißzone (18).

10 10. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass die**
Sekundärstrahlung (15) zumindest Strahlanteile aufweist, die von der Wellenlänge des Laserschweißstrahles (3) abweichen.

15 11. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Sekundärstrahlungsquelle (14) ein IR- oder UV-Strahler ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass die**
Sekundärstrahlungsquelle (14) ein mittelwelliger IR-Strahler oder vorzugsweise ein kurzwelliger IR-Halogen-Strahler ist.

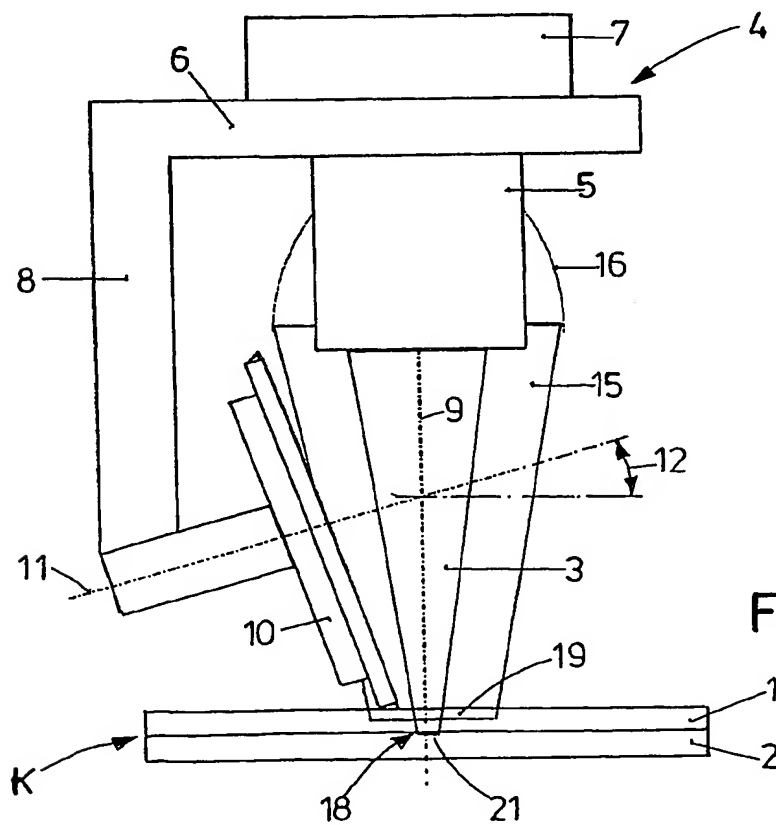
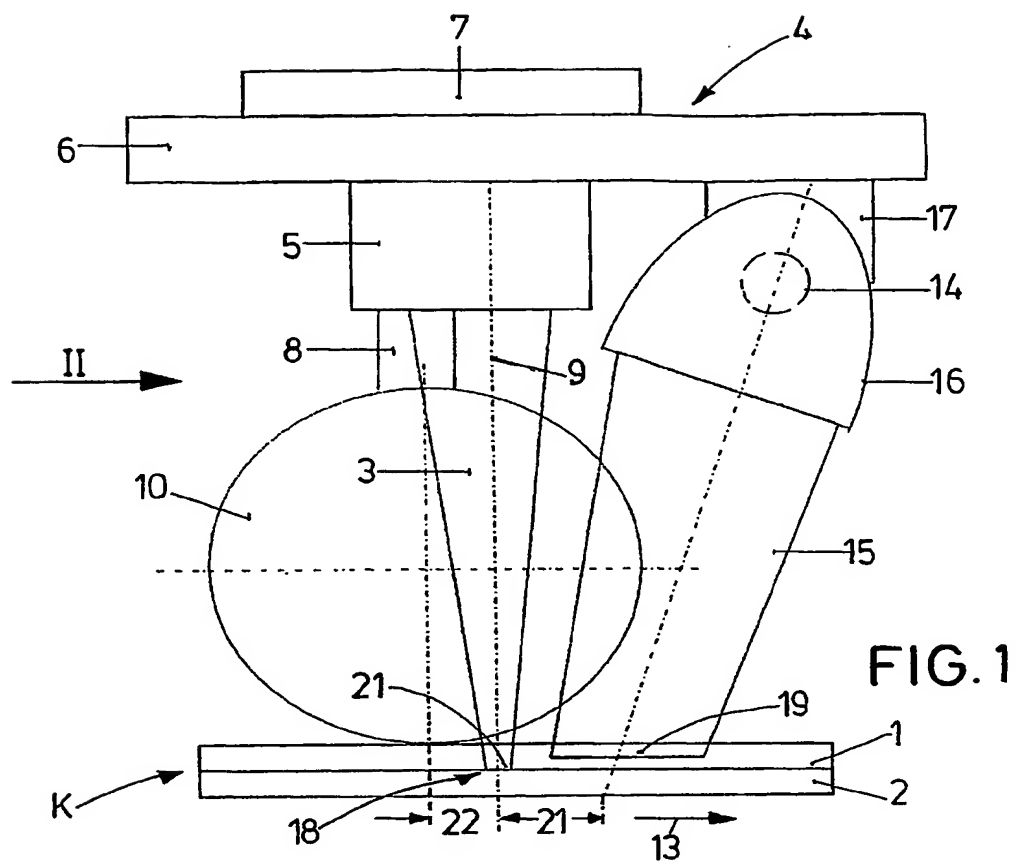
20 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass der Fokus des Laserschweißstrahles (3) im Wesentlichen konzentrisch und synchron mit dem Beaufschlagungsbereich der**
Sekundärstrahlung (15) angeordnet ist.

25 14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass der Beaufschlagungsbereich (19) der Sekundärstrahlung**
(15) dem Fokus (21) des Laserschweißstrahls (3) voreilend angeordnet

- 18 -

ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **gekennzeichnet durch eine Fokussiereinrichtung (16) für die Sekundärstrahlung (15).**
- 5
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **gekennzeichnet durch eine für den Laserschweißstrahl (3) und/oder die Sekundärstrahlung (15) transmissive Spanneinrichtung, vorzugsweise Spannrolle (10'), die der Laserschweißstrahl (3) und/oder die Sekundärstrahlung**
- 10 **(15) zur Schweißzone passiert.**



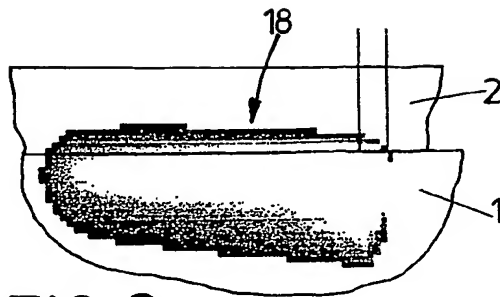


FIG. 3

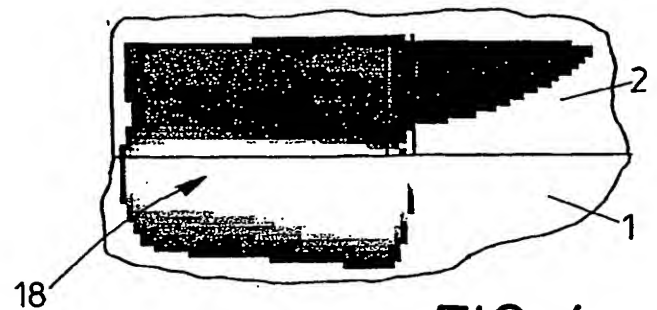


FIG. 4

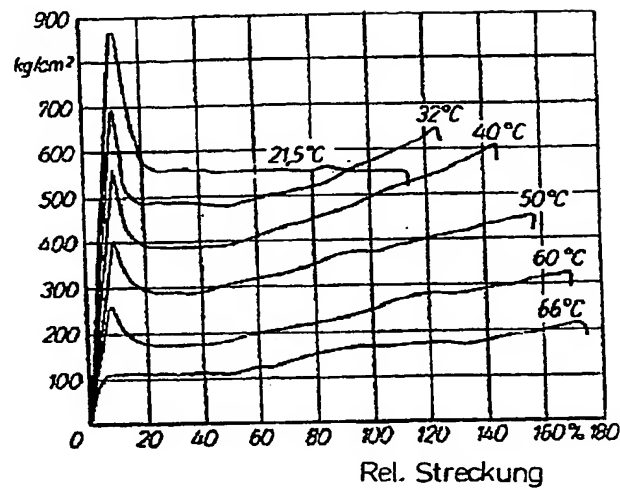


FIG. 5

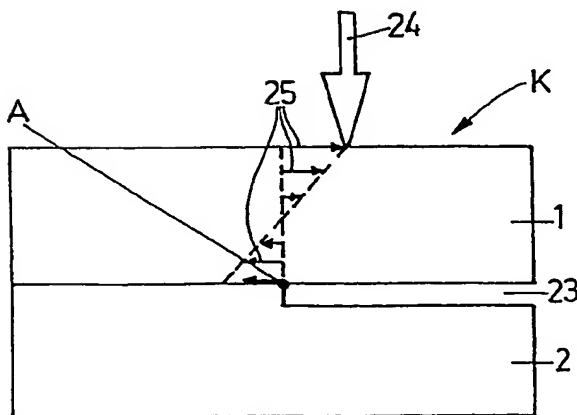


FIG. 6

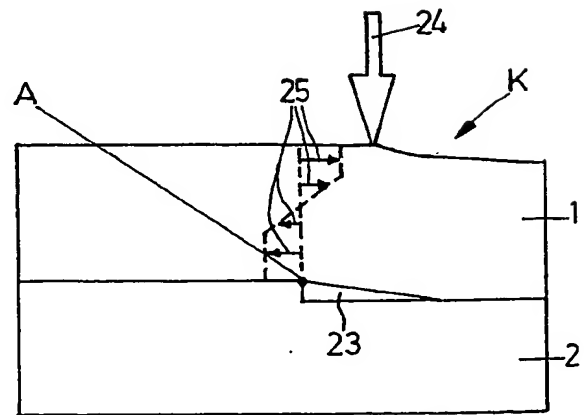
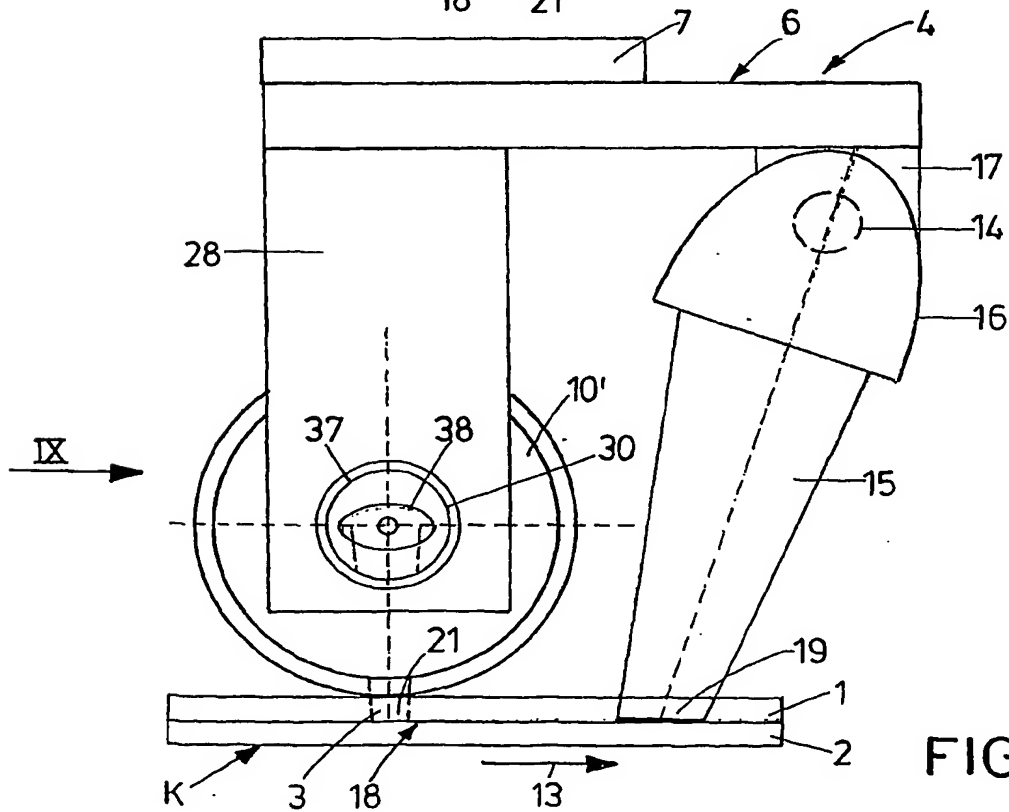
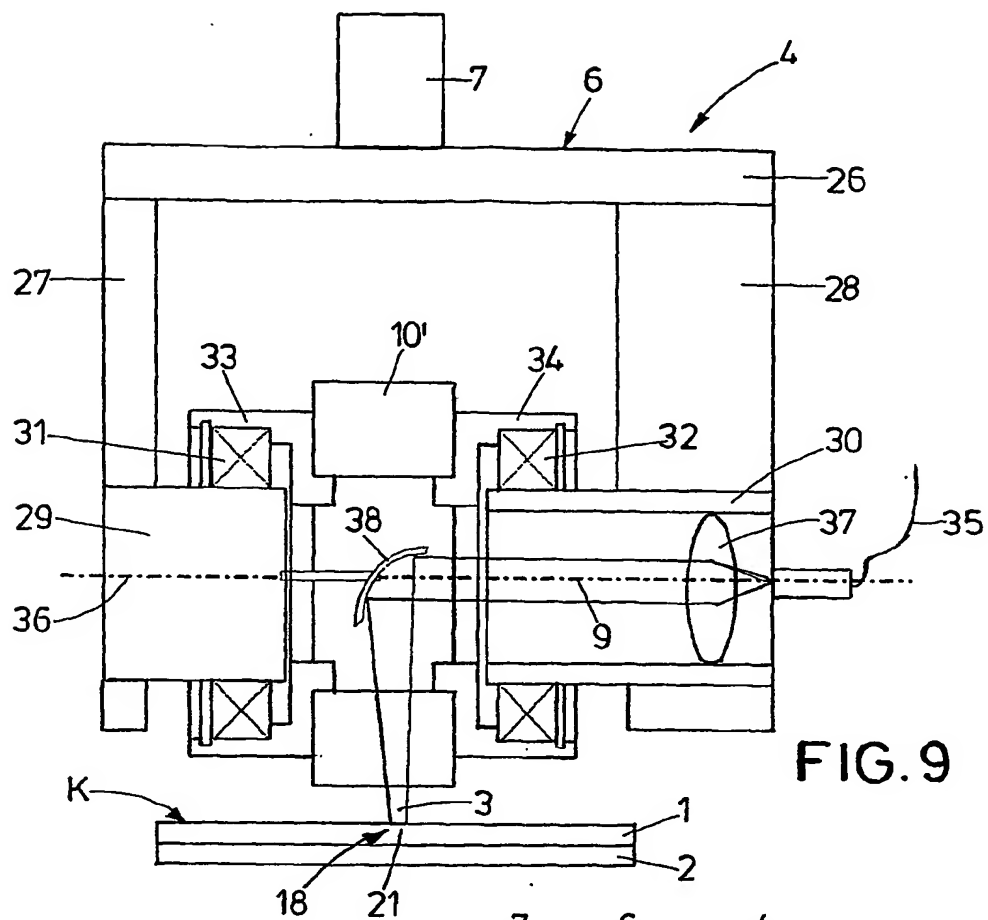


FIG. 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/EP 03/13668

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B29C65/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 597 379 A (CARNAUD EMBALLAGE SA) 23 October 1987 (1987-10-23) claims 1,2; figures 1,2 -----	1-16
A	DE 33 04 717 A (BIAS FORSCHUNG & ENTWICKLUNG) 16 August 1984 (1984-08-16) figure 3 -----	1-16
A	DE 38 33 110 A (SIEMENS AG) 5 April 1990 (1990-04-05) cited in the application claims 1,2; figure 4 -----	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 April 2004

Date of mailing of the international search report

07/05/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Dupuis, J-L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/EP 03/13668

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
FR 2597379	A	23-10-1987	FR	2597379 A1	23-10-1987
DE 3304717	A	16-08-1984	DE	3304717 A1	16-08-1984
			WO	8403059 A1	16-08-1984
DE 3833110	A	05-04-1990	DE	3833110 A1	05-04-1990
			WO	9003261 A1	05-04-1990

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

PCT/EP 03/13668

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B29C65/16

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 B29C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	FR 2 597 379 A (CARNAUD EMBALLAGE SA) 23. Oktober 1987 (1987-10-23) Ansprüche 1,2; Abbildungen 1,2	1-16
A	DE 33 04 717 A (BIAS FORSCHUNG & ENTWICKLUNG) 16. August 1984 (1984-08-16) Abbildung 3	1-16
A	DE 38 33 110 A (SIEMENS AG) 5. April 1990 (1990-04-05) in der Anmeldung erwähnt Ansprüche 1,2; Abbildung 4	1-16



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. April 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

07/05/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Dupuis, J-L

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

PCT/EP 03/13668

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
FR 2597379	A	23-10-1987	FR	2597379 A1	23-10-1987
DE 3304717	A	16-08-1984	DE	3304717 A1	16-08-1984
			WO	8403059 A1	16-08-1984
DE 3833110	A	05-04-1990	DE	3833110 A1	05-04-1990
			WO	9003261 A1	05-04-1990